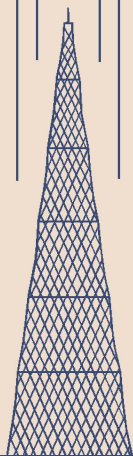


МАССОВАЯ
РАДИО
БИБЛИОТЕКА

В. Б. МАРЧЕНКО

СОВРЕМЕННЫЕ КАТОДЫ



ГОСЭНЕРГОИЗДАТ

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	3
Глава первая. Термоэлектронные катоды	8
1. Металлические и пленочные катоды	8
2. Оксидный катод	9
3. Спеченный катод	13
4. Л-катод	14
5. Импрегнированный катод	15
6. Полый катод	16
7. Ячейчатый и ламельный катоды	17
8. Ториево-оксидный катод	18
Глава вторая. Конструкции катодов и некото-	
рые особенности их работы	19
9. Подогревные катоды	19
10. Импульсный режим	21
11. Катод в магнетроне	22
12. Катоды электронно-лучевых приборов . . .	23
13. Катод в газоразрядном приборе	24
14. Самоподогревные лампы	25
15. Шумы катодов	27
Заключение	27
Приложение. Эмиссионные свойства катодов	31

МАССОВАЯ РАДИОБИБЛИОТЕКА

Выпуск 305

В. Б. МАРЧЕНКО

СОВРЕМЕННЫЕ КАТОДЫ



Scan AAW



ГОСУДАРСТВЕННОЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО
МОСКВА 1958 ЛЕНИНГРАД

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

Берг А. И., Бурлянд В. А., Ванеев В. И., Геншта Е. Н.,
Джигит И. С., Канаева А. М., Кренкель Э. Т., Куликовский А. А.,
Смирнов А. Д., Тарасов Ф. И., Чечик П. О., Шамшур В. И.

В брошюре изложены принципы действия и описано устройство катодов современных электровакуумных приборов. Приведены также сравнительные оценки различных типов катодов и указаны особенности их работы.

Брошюра предназначена для подготовленных радиолюбителей, желающих глубже ознакомиться с работой электронных ламп.

Марченко Владислав Борисович

СОВРЕМЕННЫЕ КАТОДЫ

Редактор А. А. Жигарев

Техн. редактор К. П. Воронин

Сдано в набор 3/IV 1958 г.

Подписано к печати 3/VII 1958 г.

Т-03989.

Бумага 84 × 108¹/₃₂

1,64 печ. л.

Уч. изд. л. 1,8

Тираж 40 000 экз.

Цена 75 коп.

Заказ № 1190

Типография Госэнергониздата, Москва, Шлюзовая наб., 10

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время электровакуумные приборы находят все более широкое применение во всех областях народного хозяйства. Одной из основных частей этих приборов является катод — источник свободных электронов.

Для изготовления катодов применяются различные вещества (металлы и сплавы, окислы и соли), которые при определенных внешних воздействиях, например при нагревании, способны испускать свободные электроны. Выход свободных электронов из вещества называется электронной эмиссией, а сами такие вещества получили название эмиттеров.

Обычно эмиттеры имеют кристаллическое строение. В узлах кристаллической решетки расположены ионы, которые при комнатной температуре совершают небольшие колебания около положения равновесия. По мере роста температуры колебания усиливаются, и в момент плавления вещества разрушается его кристаллическая структура.

При образовании кристаллической структуры часть электронов, ранее прочно связанных с атомами, освобождается и может свободно двигаться по кристаллу. Наличие этих электронов и объясняется хорошая проводимость металлов и сплавов.

Изучение поведения этих электронов на основе квантовой механики привело к интересным выводам. Например, было установлено, что электроны могут иметь только определенные значения энергии. Менять эту энергию (и скорость) электрон может не непрерывно, а скачками. Если раньше полагали, что при температуре 0°K (-273° по шкале Цельсия) кинетическая энергия всех электронов равна нулю, то теперь установлено, что при 0°K энергии электронов имеют различные значения, графически представленные на рис. 1.

На графике (кривая 1) можно видеть, что максимальная энергия, которой могут обладать электроны при температуре 0°K , согласно квантовой статистике равна ψ_i . Очевидно, что значительная часть электронов обладает

кинетической энергией, близкой к ω_i , даже при очень низких температурах. При температуре, отличной от 0°K , часть электронов обладает энергией, большей, чем ω_i (кривая 2), но несмотря на наличие заметного количества электронов со сравнительно большой энергией, не наблюдается значительной электронной эмиссии при не очень высокой температуре. Иными словами, некоторые силы удерживают электроны внутри металла.

В нормальном состоянии металл представляет собой нейтральное (в электрическом отношении) тело, следова-

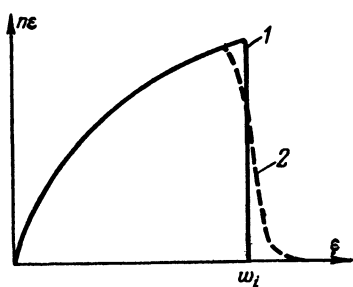


Рис. 1. Распределение свободных электронов в металле по энергиям.
1 — при 0°K ; 2 — при 1500°K .

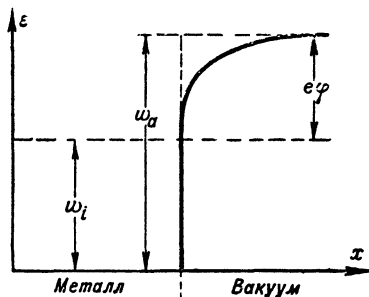


Рис. 2. Потенциальный барьер на границе металла с вакуумом.
 $\epsilon\phi$ — величина работы выхода.

тельно при вылете электронов из металла он будет заряжаться положительно, и вылетевшие электроны будут испытывать притяжение со стороны ионов кристаллической решетки. Таким образом, над поверхностью металла находится электронное облако из постоянно вылетающих и возвращающихся обратно электронов. Можно представить себе, что на границе металл — вакуум имеется изменение (скачок) потенциала, препятствующее выходу электронов из металла.

Таким образом, для удаления электрона из металла на достаточно большое расстояние необходимо затратить определенную работу, которая получила название работы выхода. Величина работы выхода является важной характеристикой данного вещества и чем она меньше, тем легче вещество теряет электроны, тем больше его электронная эмиссия при данной температуре.

Приблизительный ход потенциальной кривой на границе вещество — вакуум представлен на рис. 2. Здесь видно, что на этой границе образуется «потенциальный барьер», энергетическая «высота» которого равна ω_a .

Для того чтобы электроны смогли выйти из металла, необходимо сообщить им извне некоторую энергию, достаточную для преодоления потенциального барьера. В зависимости от того, каким способом электроны получают энергию при работе катода, и различают определенные виды эмиссии.

Одним из наиболее распространенных видов эмиссии является термоэлектронная эмиссия. В этом случае металл нагревается до высокой температуры либо при помощи специальных подогревателей (в случае подогревных катодов), либо непосредственным пропусканием тока накала через катод (в случае прямонакальных катодов). Следовательно, часть электронов приобретает кинетическую энергию, превышающую w_a (полную высоту потенциального барьера), и может, совершив работу выхода $e\phi$, вылететь из металла.

Поэтому при высокой температуре катода мы наблюдаем заметный ток эмиссии, даже когда разность потенциалов между катодом и анодом равна нулю. Очевидно, что если к аноду приложить положительный (относительно катода) потенциал, то эмиссионный ток увеличится.

Рассмотрим, как электрическое поле влияет на работу выхода вещества. В простейшем случае изменение потенциала в промежутке катод — анод имеет прямолинейный характер. На рис. 3 показано, как электрическое поле меняет потенциальный барьер на границе вещество — вакуум.

Из рассмотрения рис. 3 можно сделать следующие выводы: во-первых, электрическое поле, приложенное к пространству катод — анод, снижает величину работы выхода, и, во-вторых, потенциальный барьер при наличии поля может иметь только конечную ширину (a на графике).

Другим видом электронной эмиссии является вторичная электронная эмиссия. Возбуждение

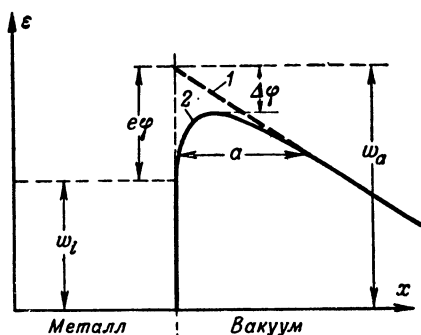


Рис. 3. Изменение потенциального барьера на границе металла с вакуумом под действием электрического поля.

1 — потенциал электрического поля; 2 — результирующая кривая.

электронов вещества происходит в этом случае за счет сообщения им энергии от электронов (называемых первичными), влетающих внутрь вещества извне, от внешнего источника электронов. Создание их и формирование в тонкий электронный пучок происходят в устройстве, называемом электронным прожектором.

Сформированный электронный пучок бомбардирует в вакууме поверхность вещества и проникает внутрь него. Внутри вещества первичные электроны взаимодействуют с электронами вещества, отдают им свою энергию и тормозятся. Количество отдаваемой энергии электрону вещества зависит как от свойства самого вещества, так и от энергии первичного электрона. От них же зависит и общее число возбужденных электронов вещества одним первичным электроном.

Рассмотрим теперь движение возбужденного электрона к поверхности вещества и выход его в вакуум. На пути к поверхности возбужденные электроны претерпевают столкновения с невозбужденными электронами вещества, число которых во много раз больше, и приходят к поверхности с меньшей энергией, чем при акте возбуждения. Те возбужденные электроны, которые приходят к поверхности с достаточной энергией для преодоления работы выхода, выходят в вакуум. Эти электроны называются вторичными. Остальные электроны не покидают вещества и за счет ряда столкновений с электронами вещества понижают свою энергию до невозбужденного состояния.

Энергия электронов обычно измеряется в электрон-вольтах (эв). Энергию в 1 эв электрон приобретает, когда он проходит в ускоряющем электрическом поле разность потенциалов в 1 в .

При бомбардировке вещества первичными электронами с относительно малыми энергиями (порядка нескольких сот электрон-вольт) электроны проникают внутрь вещества неглубоко. Следовательно, возбужденные электроны проходят малый путь до поверхности, потерянная ими энергия мала и большой процент их выходит в вакуум. Повышение энергии первичных электронов в этой области небольших энергий приводит к увеличению числа вторичных электронов, а следовательно, и коэффициента вторичной электронной эмиссии σ , равного отношению тока вторичных электронов к току первичных. Повышение σ (рис. 4) происходит до тех пор, пока не начинает сильно сказыв-

ваться поглощение возбужденных электронов. Далее с повышением энергии первичных электронов eU_n процесс поглощения возбужденных электронов начинает преобладать, и σ падает.

Вторичная эмиссия нашла широкое применение в ряде электровакуумных приборов. Однако в некоторых слу-

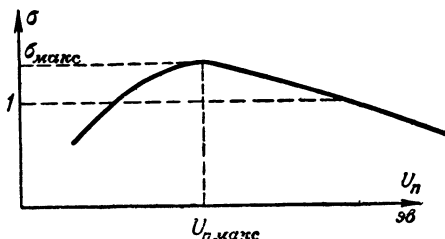


Рис. 4. Кривая зависимости коэффициента вторичной электронной эмиссии σ от энергии первичных электронов U_n .

чаях вторичная эмиссия является нежелательной (например, эмиссия с сеток электронных ламп) и ее стремятся уменьшить.

В зависимости от различных случаев использования необходимо иметь вещества с различными коэффициентами вторичной электронной эмиссии (от самых малых до весьма больших). В настоящее время известны вещества, обладающие $\sigma=0,2$, вещества со средними σ и вещества с σ , превышающими 100.

—

ГЛАВА ПЕРВАЯ

ТЕРМОЭЛЕКТРОННЫЕ КАТОДЫ

1. МЕТАЛЛИЧЕСКИЕ И ПЛЕНОЧНЫЕ КАТОДЫ

Чисто металлические катоды все более и более уступают место пленочным, оксидным и другим типам катодов. В настоящее время наиболее распространенный тип металлического катода — вольфрамовый применяется в высоковольтных кенотронах, рентгеновских трубках, мощных генераторных лампах. Работа выхода вольфрамового катода имеет довольно высокое значение (около 4,5 эв). Применение такого катода в различных типах приборов обуславливается стабильной эмиссией, а также его способностью хорошо работать в плохих вакуумных условиях, при больших анодных потенциалах и высоких температурах окружающих электродов. Рабочая температура вольфрамового катода составляет 2 200—2 800° К.

Меньшей работой выхода обладают пленочные катоды. Рассмотрим широко распространенный катод из торированного вольфрама, работа выхода которого примерно равна 2,7 эв, т. е. она не только ниже значения ϕ_f для чистого вольфрама, но также ниже значения и для чистого тория (3,4 эв).

Катод из торированного вольфрама схематически представлен на рис. 5,а. Обычно такие катоды изготавливаются из вольфрамовой проволоки, содержащей около 1% окиси тория. При нагревании окись тория восстанавливается до металлического тория, диффундирующего к поверхности.

Наиболее высокие результаты получаются, когда вся поверхность вольфрама покрыта мономолекулярной пленкой тория. Второй слой атомов тория не удерживается на поверхности, так как силы сцепления между атомами тория гораздо слабее сил сцепления между торием и вольфрамом. Электроны в атоме тория сдвигаются в сторону

вольфрамовой поверхности, в результате чего получается двойной электрический слой с положительным зарядом на поверхности. Снижение величины работы выхода в случае пленочного катода из торированного вольфрама можно объяснить, проведя аналогию с действием на электрон электрического поля плоского конденсатора (рис. 5,б).

В процессе работы часть атомов тория испаряется, а их место заполняют атомы тория, диффундирующие на поверхность из глубины катода. Равновесие между количеством тория, проникающего на поверхность и испаряющегося с нее, достигается при температуре около $2\,000^\circ\text{К}$, являющейся рабочей температурой катода из торированного вольфрама. При более высоких температурах процесс испарения тория идет интенсивнее процесса диффузии, а при более низких — наоборот.

Обычно пленочные катоды, как и металлические, используются в приборах с прямым накалом. Катоды из торированного вольфрама находят применение в усилительных лампах малой мощности, а также в некоторых специальных типах газоразрядных приборов.

2. ОКСИДНЫЙ КАТОД

В 1903 г. Венельт, проводя исследования с платиновым эмиттером, заметил, что уже при температурах порядка $1\,100^\circ\text{К}$ с отдельных участков катода наблюдается интенсивная эмиссия. При такой сравнительно низкой температуре чистая платина, почти не испускает электронов, поэтому Венельт предположил, что повышенная эмиссия наблюдается с участков, «загрязненных» окислами различных металлов, входящих в состав вакуумной смазки, и исследовал эмиссионные свойства окислов нескольких веществ. Он установил, что наиболее высокой эмиссией обладают окислы щелочноземельных металлов. Так по-

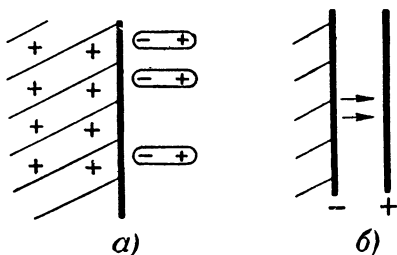


Рис. 5. Катод из торированного вольфрама.

а — принципиальное строение катода; б — действие плоского конденсатора на электрон (направление сил между положительной и отрицательной пластинами показано стрелками).

явился высокоэффективный катод, получивший впоследствии название оксидного катода.

С годами менялся химический состав оксидного катода, совершенствовалась технология его изготовления, менялось представление о физике явлений, происходящих в нем. Оксидный слой стали рассматривать как электронный полупроводник, что позволило глубже понять механизм явлений, происходящих в оксидном катоде.

В приборах применяются как прямонакальные, так и подогревные оксидные катоды.

Одной из важных технологических операций при изготовлении катода является нанесение катодного покрытия на металлическую (обычно никелевую или вольфрамовую) подложку — керн. Наиболее простым способом является протягивание. Проволоку протягивают через суспензию щелочноземельных солей (обычно углекислых солей — карбонатов бария, кальция и стронция), к которой добавляют специальное органическое вещество — биндер, связывающее частицы покрытия с металлическим керном. При нагревании катода в процессе его дальнейшей обработки биндер разлагается.

Другим способом покрытия является так называемый катафорез. По этому способу керн, подлежащий покрытию, помещают в сосуд с суспензией и подводят к нему отрицательный относительно другого электрода потенциал. Благодаря наличию в растворе электролита в сосуде начинает протекать ток, причем взвешенные зерна суспензии заряжаются положительно и движутся к катоду, оседая на нем. Покрытие в этом случае получается достаточно плотным. Кроме того, в этом случае легко контролируются толщина покрытия и размер его зерна.

В настоящее время широко распространено опрыскивание катодов при помощи специальных пульверизаторов. В этом случае наносимый порошок вместе со связующим веществом превращают в суспензию и в потоке сжатого газа наносят на катод. Такой способ особенно удобен при массовом производстве катодов.

Оксидный катод дает высокую и стабильную эмиссию лишь после специальной обработки в вакууме — активирования. Катод нагревают до температуры, превышающей его рабочую температуру на 300—350°. Вещества покрытия (карбонаты бария, стронция и кальция) частично разлагаются с выделением углекислого газа, причем в покрытии в результате разложения появляется свобод-

ный барий. На границе покрытия с керном идут химические реакции вещества покрытия с примесями, находящимися в керне, что также ведет к восстановлению свободного бария. В результате здесь образуется промежуточный слой, химический состав которого зависит от материала керна. Кроме того, если во время активировки приложено анодное напряжение, то проходящий через покрытие ток вызывает электролитическое разложение окиси бария, что увеличивает количество свободного бария в катодном покрытии.

Оксидный слой состоит из отдельных зерен, имеющих кристаллическое строение. Появление в узлах кристаллической решетки избыточных ионов бария ведет к появлению электронов проводимости, превращая оксидный слой в электронный полупроводник, эмиттирующий электроны при рабочей температуре порядка 1000°K . Величина тока эмиссии зависит от концентрации избыточного бария.

Часть атомов бария направляется к поверхности и остается там в виде отдельных островков, где атомы расположены в один слой. Второй слой не удерживается на поверхности, так как сила сцепления атомов бария с покрытием больше, чем у атомов бария между собой. В результате структура оксидного катода принимает вид, схематически представленный на рис. 6.

Как видно из рис. 6, поверхность катода носит пористый характер. Глубина пор иногда достигает половины толщины катодного покрытия. Пористость покрытия меняется в зависимости от способа его нанесения. Наиболее плотное (менее пористое) покрытие получается при нанесении катафорезом, а более пористое — при опрыскивании пульверизатором.

Оксидный катод применяется в большинстве радиоламп, что объясняется его хорошими эмиссионными свойствами. Благодаря низкой работе выхода оксидного катода ($1,1\text{—}1,3 \text{ эВ}$) он может обеспечивать высокие плотности эмиссионного тока. Поэтому оксидный катод удобно применять в электронно-лучевых трубках, где для получения маленького пятна на экране желательно иметь точечный катод.

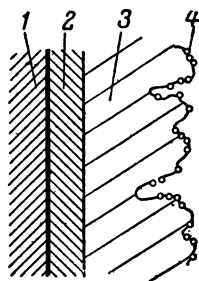


Рис. 6. Строение оксидного катода.

1 — металлическая подложка; 2 — прослойка на границе покрытия с керном; 3 — полупроводящее покрытие; 4 — отдельные атомы бария на поверхности катода.

Одним из важных преимуществ оксидного катода является его экономичность. Достаточно низкие рабочие температуры позволяют значительно снижать затраты мощности на его накал. Так, например, на подогрев до рабочей температуры пленочного катода из торированного вольфрама тратится мощность, приблизительно в 4 раза большая, а для вольфрамового катода в 25 раз большая, чем для подогрева оксидного катода, имеющего такую же рабочую поверхность.

Но оксидному катоду присущи и некоторые недостатки. Так, например, легко испаряясь с поверхности катода, барий оседает на аноде и сетках лампы, улучшая этим их термо- и вторичноэмиссионные свойства. В результате эти электроды сами начинают эмиттировать электроны, что нарушает нормальный режим работы лампы.

Существенным недостатком, ограничивающим возможность получения больших плотностей тока с оксидного катода, является искрение. Как известно, падение напряжения на прослойке, прилегающей к керну, вызывает большие напряженности поля (500—1 200 кв/см), что приводит к пробое слоя. Находящиеся поблизости от места пробоя зерна оксида разогреваются и испаряются. Кроме того, неоднородность оксидного слоя и перегрев его более сильно эмиттирующих участков благодаря недостаточной теплопроводности слоя вызывают испарение бария с этих участков, что также ведет к искрению.

Обычно в процессе работы оксидного катода происходит заметное уменьшение тока эмиссии. Это явление происходит благодаря уменьшению концентрации избыточного бария в активном слое. Чаще всего это наблюдается при наличии кислорода, остающегося на различных деталях в лампе (на аноде, сетке, экранах, стекле) и попадающего в процессе работы лампы на катод. Процесс разрушения катода идет наиболее интенсивно в случае бомбардировки анода и сеток электронным потоком при высоком анодном напряжении. Кроме кислорода, «отравление» катода вызывают углекислый газ, жиры, случайно занесенные при монтаже, и другие вещества.

Оксидное покрытие очень чувствительно к бомбардировке катода положительными ионами и высокому постоянному анодному напряжению, так как все это ведет к разрушению эмиттирующего слоя.

3. СПЕЧЕННЫЙ КАТОД

Обычное оксидное покрытие, получаемое опрыскиванием или катафорезом, недостаточно прочно связано с металлической подложкой и содержит небольшой запас эмиттирующего вещества, что ограничивает плотность эмиссионного тока, допустимое анодное напряжение и долговечность катода.

С целью увеличения запаса активного вещества и улучшения его сцепления с подложкой в магнетронах был применен так называемый спеченный катод. На металлическую подложку наносился слой толщиной 0,1—0,6 мм никелевого порошка и спекался с ней в атмосфере водорода. Погружением в суспензию этот катод насыщался карбонатом. Преимуществом такого катода является возможность получения очень гладких эмиттирующих поверхностей. Кроме того, этим способом можно наносить активный слой на катоды любой формы.

В настоящее время значительная часть спеченных катодов готовится вообще без металлической подложки. Карбонаты бария смешиваются с металлическим порошком никеля или вольфрама, прессуются в специальной форме и подвергаются спеканию при температуре 1250—1350° К в вакууме или в атмосфере водорода.

Механизм активирования спеченного катода аналогичен процессу активирования обычного оксидного катода, т. е. объясняется появлением в эмиттирующем покрытии избыточного бария, частично диффундирующего на поверхность.

Основные параметры спеченного катода (рабочая температура, экономичность) совпадают с параметрами оксидного катода. Для работы выхода спеченного катода получены значения около 1,3 эв. Но спеченный катод обладает и некоторыми преимуществами по сравнению с оксидным. Так, например, наличие металла в активном слое снижает возможность искрения. Кроме того, спеченные катоды лучше противостоят ионной бомбардировке и влиянию остаточных газов. Долговечность этого типа катодов обычно составляет несколько тысяч часов. Они нашли широкое применение в магнетронах, тиратронах, наполненных водородом и инертными газами, и в других типах высокочастотных приборов.

4. Л-КАТОД

Новым типом катода являются металлокапиллярные катоды, обычно называемые Л-к а т о д а м и (катодами Лемменса). Механизм работы Л-катода аналогичен механизму работы пленочного (например, катода из торированного вольфрама). В Л-катоде на поверхности вольфрама находится слой атомов бария, обеспечивающий снижение работы выхода до 2 эв.

Принципиальное устройство Л-катода показано на рис. 7. Молибденовый цилиндр 1 имеет два отделения:

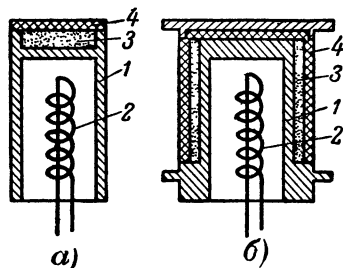


Рис. 7. Л-катод.

а — катод с плоской эмиттирующей поверхностью; б — катод с цилиндрической эмиттирующей поверхностью; 1 — молибденовый цилиндр; 2 — подогреватель; 3 — полость с эмиттирующим веществом; 4 — пористая вольфрамовая губка.

во внутреннем отделении расположен подогреватель 2, а во внешнем находится активное вещество 3 (карбонат бария и стронция). Это отделение накрывается пористой вольфрамовой губкой 4, которая плотно приваривается к молибденовому цилиндру. Таким образом, активное вещество может выходить наружу только через поры вольфрамовой губки.

Для активирования катода его медленно нагревают до 1400° К. При этом происходит разложение карбонатов с выделением окислов бария и углекислого газа; последний проходит через вольфрамовую губку и откачивается.

При взаимодействии окислов с вольфрамом восстанавливается барий, который через пористую вольфрамовую губку диффундирует на ее поверхность.

Срок службы Л-катода обуславливается запасом активного вещества в камере и рабочей температурой. При нормальных условиях он составляет 5000—10000 ч. По сравнению с оксидным катодом Л-катод имеет некоторые преимущества. Отсутствие у него факторов, вызывающих искрение в оксидном катоде, позволяет получать значительные плотности тока в статическом режиме. Кроме того, он легко переносит ионную бомбардировку катодной поверхности и не разрушается при высоких анодных напряжениях. Однако с Л-катода, так же как

и с оксидного, в процессе работы испаряются атомы бария, оседающие на других электродах, что вредно сказывается на работе ламп.

Хотя Л-катод и «отравляется» кислородом, но его эмиссионные свойства легко восстанавливаются (обычно некоторым повышением температуры катода, что ускоряет процесс активировки). При употреблении в лампах с затрудненным обезгаживанием Л-катод работал хорошо, а оксидный катод в этом случае применить не удалось.

В высокочастотных приборах, где значительную роль играет время пролета электрона, возможность получения очень гладкой эмиттирующей поверхности является важным свойством Л-катода, так как это позволяет заметно сократить расстояние от катода до ближайшего электрода.

В случае плоского катода оптимальные результаты удалось получить при диаметре катода, равном 3 мм. Выбор таких размеров объясняется тем, что передача тепла вольфрамовой губке в основном происходит за счет теплопроводности молибденовых стенок. Поэтому при увеличении размеров катода температура у краев вольфрамовой губки будет значительно превышать температуру в центре губки. Этот перепад температуры вдоль эмиттирующей поверхности вызовет неравномерность в распределении тока эмиссии. С другой стороны, уменьшение размеров катода вызывает трудности при помещении таблетки карбонатов в предназначенный для нее объем.

Применение оксидного катода в клистронах затруднено благодаря ионной бомбардировке и газовыделению с металлических поверхностей, применение же Л-катода позволило преодолеть эти трудности. Хорошие результаты дало также применение Л-катодов в магнетронах, рентгено-структурных трубках и триодах с дисковыми впамями.

5. ИМПРЕГНИРОВАННЫЙ КАТОД

В результате работ по усовершенствованию Л-катода возник новый тип, получивший название и м п р е г н и р о в а н н о г о (пропитанного) катода. У такого катода (рис. 8) активное вещество, состоящее из смеси алюминатов бария, распределено в порах вольфрамовой губки. Отсутствие специальной камеры для активного вещества

значительно упрощает конструкцию катода и устраняет необходимость газонепроницаемой сварки вольфрамовой губки с молибденовым цилиндром.

В импрегнированном катоде тепло от нагревателя передается на вольфрамовую губку в основном за счет

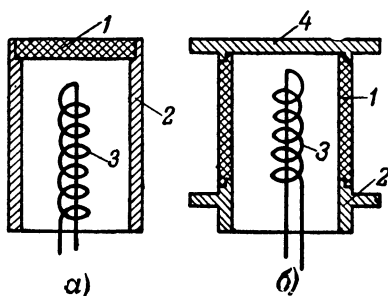


Рис. 8. Импрегнированный катод.

a — катод с плоской эмиттирующей поверхностью; *b* — катод с цилиндрической эмиттирующей поверхностью; 1 — пористая вольфрамовая губка, пропитанная эмиттирующим веществом; 2 — молибденовый цилиндр; 3 — подогреватель; 4 — молибденовый диск.

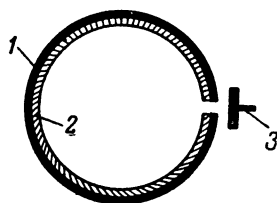


Рис. 9. Принципиальное устройство сферического полого катода.

1 — металлическая подложка; 2 — оксидное покрытие; 3 — анод.

излучения, что ведет к более равномерному распределению температуры вдоль поверхности катода. Кроме того, конструкция импрегнированного катода позволяет в широких пределах изменять форму и размеры катода.

В настоящее время импрегнированный катод применяется в магнетронах, клистронах и лампах с бегущей волной.

6. ПОЛЫЙ КАТОД

Несколько лет назад в литературе появились сведения о полом катоде. На рис. 9 представлен схематический вид сферического полого катода. Оксидный слой в этом случае наносится на внутреннюю поверхность полой катодной сферы, с наружной стороны которой находится подогреватель. Диаметр катодного отверстия обычно составляет доли миллиметра, а расстояние от отверстия до анода не превышает нескольких миллиметров.

Полый катод позволяет получать очень высокие плотности тока (даже в статическом режиме), достигающие 70 а/см^2 . Снимаемый с него анодный ток сильно зависит от температуры катода. Рабочая температура последнего приблизительно равна $1350\text{—}1450^\circ \text{ К}$. Характерной особенностью такого катода является быстрый рост анодного тока при небольших анодных напряжениях. Значи-

тельный рост анодного тока продолжается и при высоком анодном напряжении.

Механизм работы полого катода еще недостаточно изучен, но было установлено сильное влияние эмиттирующих слоев, расположенных вблизи отверстия, на величину тока, хотя несомненно, что анодный ток создается электронами, эмиттируемыми всей внутренней поверхностью катода.

Полый катод может применяться в электронно-лучевых трубках, клистронах, лампах с бегущей волной и других высокочастотных приборах.

7. ЯЧЕЙЧАТЫЙ И ЛАМЕЛЬНЫЙ КАТОДЫ

Промежуточным звеном между обычными оксидным и полым катодами являются ячейчатые и ламельные катоды.

Ячейчатый (трубчатый) катод, представленный на рис. 10, состоит из отдельных никелевых трубочек, покры-

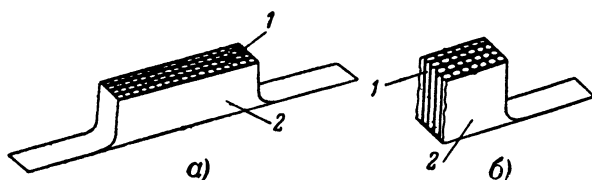


Рис. 10. Ячейчатый катод.

а — общий вид катода; *б* — внутренний вид катода; 1 — отдельные никелевые трубочки с эмиттирующим веществом; 2 — молибденовая оправка.

тых изнутри (или заполненных) оксидом. Диаметр отдельной трубочки составляет доли миллиметра, а ее длина не превышает нескольких миллиметров. Трубочки помещены в специальную молибденовую основу.

Общий вид ламельного катода и распределение электрического поля между электродами показаны на рис. 11. Поверхность ламелей может быть либо гладкой, либо покрытой слоем спеченного никелевого порошка, либо к поверхности приваривается никелевая сеточка. Как видно из рис. 11, *б*, анодное поле глубоко проникает в углубление между ламелями, вытягивая оттуда электроны. Очевидно, что высокая напряженность внешнего

электрического поля будет только у наружной части выступов эмиттирующей поверхности. Так же, как и в по-
лых катодах, основную роль в анодном токе играют

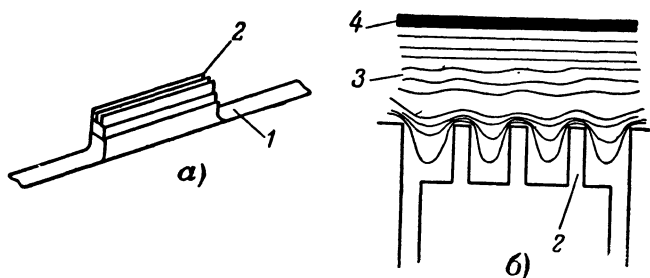


Рис. 11. Ламельный катод.

а — общий вид катода; *б* — распределение электрического поля между анодом и катодом; *1* — молибденовая оправка; *2* — отдельная ламель; *3* — силовые линии электрического поля; *4* — анод

участки эмиттирующей поверхности, находящиеся вблизи краев ламелей.

Ламельные и ячейчатые катоды могут применяться в различных высокочастотных приборах.

8. ТОРИЕВО-ОКСИДНЫЙ КАТОД

У всех описанных выше сложных катодов активным веществом служили окислы щелочноземельных элементов. Но существуют катоды, в которых в качестве эмиттирующих покрытий используются другие химические соединения, например, окись тория.

У обычных оксидных и ториево-оксидных катодов есть много общего, что объясняется полупроводниковой структурой эмиттирующего покрытия этих катодов, но между ними имеются и существенные различия: например, окись тория является более тугоплавким веществом по сравнению со щелочноземельными окислами, что заметно сказывается на эмиссионных свойствах ториево-оксидного катода.

Хотя ториево-оксидные катоды и не могут конкурировать с оксидными в области средних температур, но они лучше противостоят электронной бомбардировке, менее подвержены искрению, допускают отбор токов большой плотности в статическом режиме и хорошо работают в плохих вакуумных условиях. Кроме того, при активировке ториево-оксидных катодов отсутствует газовыделе-

ние из эмиттирующего покрытия, поэтому активирование можно проводить в отпаянном приборе. Рабочая температура ториево-оксидного катода около 1950°K .

Кроме обычных ториево-оксидных катодов, у которых окись тория наносится на подложку из тугоплавкого металла (вольфрам, молибден или тантал), существуют металлокерамические катоды, состоящие из смеси порошка окиси тория с тугоплавким металлом, обычно молибденом или вольфрамом. Эта смесь спрессовывается в специальных формах и затем спекается. Металлокерамические катоды могут быть как подогревными, так и прямонакальными.

Ториево-оксидные катоды широко применяются в мощных магнетронах. Представляет также интерес использование этих катодов в лампах средней мощности, где к. п. д. имеет второстепенное значение.

ГЛАВА ВТОРАЯ

КОНСТРУКЦИИ КАТОДОВ И НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ ИХ РАБОТЫ

9. ПОДОГРЕВНЫЕ КАТОДЫ

Первые подогревные катоды появились уже через несколько лет после создания оксидного катода, но широкое распространение они получили вместе с развитием радиоприемной аппаратуры.

В отличие от прямонакального вся эмиттирующая поверхность подогревного катода находится под одним потенциалом. Это позволило осуществить в радиоприемниках накал ламп переменным током. Кроме того, соединяя последовательно нити накала ламп в радиоприемнике, стало возможным осуществить питание накала непосредственно от электросети (без понижающих трансформаторов).

К недостаткам подогревного катода следует отнести трудности, возникающие при изготовлении подогревателей, а также меньшую по сравнению с прямонакальным катодом экономичность.

Первоначально изоляция подогревателя от катода осуществлялась при помощи фарфоровых трубок. Но при высоких температурах трубка размягчается, и ее изолирующие свойства заметно ухудшаются. Одно время наряду с фарфоровыми трубками применялась изоляция из окиси магния либо в виде трубок, в которых помещались подо-

греватели, либо в виде покрытия, непосредственно наносимого на подогреватель.

В настоящее время в качестве изолирующего покрытия широко применяются некоторые сорта окиси алюминия, причем их изолирующие свойства сильно зависят от химической чистоты. Иногда для улучшения изолирующих свойств покрытия к окиси алюминия добавляют небольшое количество окиси бериллия. Размельченные изолирующие материалы, смешанные с нерастворяющей жидкостью,

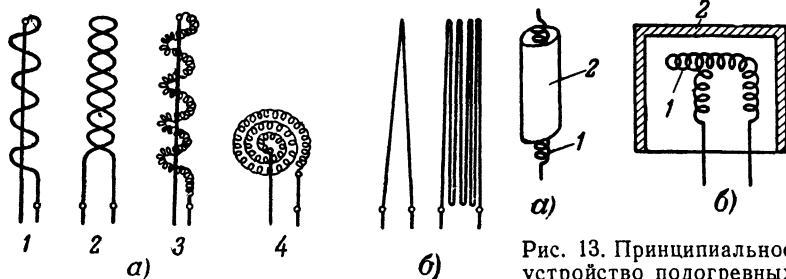


Рис. 12. Подогреватели катодов.

а — спиральные подогреватели; *б* — складчатые подогреватели; 1 — простая спираль; 2 — бифилярная спираль; 3 — двойная спираль; 4 — подогреватель типа улитки.

Рис. 13. Принципиальное устройство подогревных катодов.

а — общий вид цилиндрического катода; *б* — торцовый катод в разрезе; 1 — подогреватель; 2 — эмиттирующая поверхность.

в которую добавляют связующее вещество (биндер), наносят на подогреватели катафорезом или опрыскиванием, после чего слой спекают при температуре $1800\text{--}2000^\circ\text{K}$ в атмосфере водорода.

В последнее время все более широкое применение находит способ нанесения изолирующего покрытия, получивший название *анафореза*. В этом случае в отличие от катафореза к подогревателю, погруженному в раствор, подводится положительное (относительно другого электрода) напряжение. Переход от катафореза к анафорезу позволил увеличить плотность и толщину изолирующего слоя, что благоприятно отразилось на свойствах подогревателей.

Материалом подогревателей обычно служит вольфрам. Применяются также подогреватели из сплава вольфрама с молибденом, что снижает их хрупкость, облегчая их изготовление, и улучшает их механические свойства при высоких температурах, хотя их рабочие температуры ниже, чем у чисто вольфрамовых подогревателей.

Подогреватели катодов имеют самые различные формы. Они изготавливаются в виде простых, двойных или бифилярных спиралей. К преимуществам бифилярной спирали следует отнести то, что она создает очень слабое магнитное поле. Кроме спиральных подогревателей, применяются так называемые складчатые подогреватели, которые очень просты в изготовлении. Различные типы подогревателей показаны на рис. 12.

Готовый подогреватель помещается внутрь катодной трубки. Керны подогревных катодов обычно изготавливаются из различных сортов никеля в виде трубок круглого, прямоугольного или овального сечения. Диаметр трубок берется от десятых долей миллиметра в лампах с экономичным катодом до нескольких миллиметров в генераторных и мощных усилительных лампах. Устройство подогревных катодов показано на рис. 13.

10. ИМПУЛЬСНЫЙ РЕЖИМ

В статическом режиме не удастся получать большие плотности эмиссионного тока из-за перегрева отдельных участков катода и разрушения его эмиттирующей поверхности. В импульсном режиме ввиду кратковременности отдельных импульсов можно гораздо полнее использовать эмиссионные свойства катода, получая в сотни раз большие плотности тока, чем при статическом режиме.

В импульсном режиме величину эмиссионного тока катода обычно ограничивает искрение последнего, причем ток эмиссии тем больше, чем короче время отдельного импульса и чем больше пауза между импульсами.

Различают два вида искрения. Первый вид искрения наступает в условиях пространственного заряда благодаря большим плотностям тока на отдельных участках катода. В этом случае местные перегревы вызывают интенсивное газовыделение с отдельных участков катодной поверхности, ведущее к местным разрядам и разрушению эмиттирующего слоя. Второй вид искрения происходит в режиме насыщения и вызывается превышением допустимой для данной лампы величины анодного напряжения.

Первый вид искрения обычно наблюдается у катодов, работавших сравнительно небольшой срок. При более длительной работе катода чаще наблюдается второй вид искрения. Этот переход от первого вида искрения ко второму, вероятно, объясняется увеличением поперечного сопротивления катодного покрытия, обусловленным воз-

никновением в процессе работы катода прослойки между керном и покрытием, на долю которой падает значительная часть поперечного сопротивления катодного покрытия. Чтобы затруднить образование прослойки, следует брать чистые сорта никеля, содержащие минимальное количество примесей, так как прослойка образуется в результате химических реакций веществ катодного покрытия с различными примесями, находящимися в керне.

Сильное влияние на величину плотности тока в импульсном режиме оказывает состояние эмиттирующей поверхности. Так, увеличение шероховатости катодной поверхности обычно способствует повышению плотности тока.

В последнее время электровакуумные приборы, работающие в импульсном режиме, находят все более широкое распространение.

11. КАТОД В МАГНЕТРОНЕ

Работа катода в магнетроне отличается некоторыми особенностями. Катод в этом приборе непрерывно подвергается электронной и ионной бомбардировке. Ионная бомбардировка обусловливается образованием положительных ионов при столкновении электронов с нейтральными атомами остаточного газа, которые под действием электрического поля направляются на катод.

Благодаря наличию в магнетроне магнитного поля электроны движутся от катода к аноду по спирали, причем часть электронов закручивается магнитным полем настолько сильно, что возвращается на катод. Попадая на катод, электроны проникают в глубь катодного покрытия и вызывают вторичную электронную эмиссию.

Вторичные электроны составляют значительную часть общего тока эмиссии катода магнетрона; в ряде магнетронов количество вторичных электронов во много раз больше, чем количество термоэлектронов. Поэтому были созданы магнетроны, в которых весь эмиссионный ток является током вторичных электронов. В таких магнетронах применяются металлические катоды, состоящие из сплава магния, алюминия и марганца, обладающие высоким значением коэффициента вторичной эмиссии. У них имеется специальный термоэлектронный катод, дающий первичный электронный пучок, направленный на рабочий катод магнетрона. Этот электрод служит для запуска магнетрона и носит название стартового электрода. Когда на катод

начинает возвращаться достаточно большая часть электронов, стартовый катод выключается.

Вследствие электронной и ионной бомбардировки катод магнетрона нагревается до температуры около 1800°K . При такой температуре и в условиях интенсивной бомбардировки обычный оксидный катод быстро разрушается. Поэтому оксидные катоды применяются только в мало-мощных магнетронах.

В магнетронах, работающих в импульсном режиме с большой длительностью импульса (десятки микросекунд) и большой плотностью тока, а также в магнетронах, работающих в режиме непрерывной генерации сантиметровых и дециметровых волн, широкое распространение получили ториево-оксидные катоды. Эти катоды обладают хорошими эмиссионными свойствами (работа выхода ториево-оксидных катодов примерно равна $2,6\text{ эв}$, а коэффициент вторичной эмиссии больше двух). Кроме того, ториево-оксидные катоды легко переносят высокие температуры и хорошо работают в плохих вакуумных условиях.

12. КАТОДЫ ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВЫХ ПРИБОРОВ

В электронно-лучевых трубках обычно применяются торцовые подогревные катоды. Условия их работы в разных по назначению трубках неодинаковы. Так, например, анодное напряжение проекционных трубок составляет 80 кВ , ток в пучке достигает 1 ма , а диаметр пятна равен нескольким миллиметрам, в то время как в телевизионных трубках анодное напряжение равно 1 кВ , диаметр пятна не превышает $0,1\text{ мм}$, а ток пучка составляет несколько микроампер. Несмотря на эти различия в условиях работы можно сформулировать общие требования, предъявляемые к катодам различных типов электронно-лучевых трубок.

Известно, что срок службы электронно-лучевых трубок зачастую определяется долговечностью катода, поэтому желательно применять катоды, дающие стабильную эмиссию в течение нескольких тысяч часов (обычно не менее $2\,000\text{ ч}$). Большое значение имеет уменьшение шероховатости катодной поверхности, так как это позволяет уменьшать расстояние между катодом и модулятором, а следовательно, более эффективно управлять током пучка. Важным требованием является также равномерность эмиссии по поверхности катода, так как при снятии запирающего потенциала модулятора эмиттирующая поверхность должна увеличиваться равномерно, начиная с нулевого значения.

Желательно, чтобы вещества катодного покрытия были малолетучими. Действительно, изолирующие вещества, испаряясь с катода и попадая на металлические диафрагмы, ведут к появлению электрических зарядов на диафрагмах, а следовательно, к изменению электрического поля и искажению формы пучка. При испарении веществ с хорошей электропроводностью появляется возможность проводимости по изоляторам. Наконец, испарение веществ с хорошими эмиссионными свойствами вызывает эмиссию с окружающих электродов, что также ведет к помехам в работе трубок.

Исходя из законов электронной оптики, можно вывести соотношение, из которого следует, что площадь пятна на экране электронно-лучевой трубки пропорциональна температуре катода. Поэтому в электронно-лучевых трубках применяются катоды, дающие значительные плотности тока эмиссии даже при низких рабочих температурах.

Некоторые из перечисленных выше катодов (спеченный, импрегнированный, полый и др.) могут успешно конкурировать с оксидным катодом, который, хотя и нашел широкое применение в электронно-лучевых трубках, но удовлетворяет далеко не всем перечисленным требованиям.

13. КАТОД В ГАЗОРАЗРЯДНОМ ПРИБОРЕ

В газоразрядных приборах по сравнению с вакуумными катоды работают в менее благоприятных условиях. В процессе работы эмиттирующая поверхность постоянно подвергается бомбардировке ионами газа, наполняющего прибор, что ведет к разрушению катодной поверхности. В мощных приборах кроме ионной бомбардировки катодного покрытия происходит разогрев катодного слоя проходящим через него током эмиссии, что вызывает интенсивное испарение вещества покрытия. Для уменьшения испарения эмиттирующего слоя к окислам щелочноземельных элементов добавляются, более тугоплавкие вещества (например, окись тория).

Значительная часть газоразрядных приборов работает на переменном токе. В этом случае в приборе вместо катода и анода применяются два одинаковых электрода. При этом энергия, необходимая для разогрева электрода, получается за счет бомбардировки электродов электронами и ионами. Кроме того, в мощных приборах значительная часть энергии, необходимой для нагрева электрода, обеспечивается выделением тепла при прохождении разрядного тока через электрод. Размеры электродов выбираются в зависимости от разрядного тока, причем температура в местах возникно-

вения разряда должна быть близкой к оптимальной. Слишком низкая температура обуславливает недостаточный ток эмиссии и, следовательно, сильное падение потенциала вблизи поверхности катода, что приводит к разрушению эмиттирующего покрытия. Слишком же высокая температура ведет к испарению покрытия.

Наиболее распространенным типом катодов в различных газонаполненных приборах является оксидный катод. Он применяется в газоразрядных выпрямительных приборах, люминесцентных лампах и водородных тиратронах.

14. САМОПОДОГРЕВНЫЕ ЛАМПЫ

Несколько лет назад в литературе было описано интересное применение оксидного катода в так называемых самоподогревных электронных лампах. В этом вакуумном приборе катод и анод заменены одинаковыми эмиттерами электронов, попеременно выполняющими роль катода и анода, причем энергия, выделяющаяся при электронной бомбардировке эмиттера, выполняющего в данный полупериод роль анода, идет на его подогрев, и, благодаря повышению его температуры, в следующий полупериод он может выполнять роль катода, эмиттируя электроны, которые направляются к первому электроду.

Самоподогревные лампы в некоторых случаях имеют преимущество перед обычными электровакуумными лампами. Например, если необходимо, чтобы электронные лампы пропускали переменный ток, их соединяют попарно; при этом каждая лампа работает в течение одного полупериода. Эти две обычные электронные лампы были успешно заменены лампой с двумя эмиттерами, попеременно являющимися анодом и катодом.

Создано три различных прибора, использующих самоподогревные катоды. Первым прибором был электронный реостат, в котором расстояние между электродами можно регулировать механическим перемещением одного из них. Этот прибор работает подобно переменному сопротивлению. Он имеет некоторое преимущество перед обыкновенными реостатами, так как его детали перемещаются без трения. Уменьшая или увеличивая расстояние между электродами прибора, можно изменять его сопротивление в широких пределах. Мощность, рассеиваемая на электродах прибора, расходуется на поддержание их температуры. Основной недостаток такого реостата заключается в необходимости

перемещения подвижных частей в условиях высокого вакуума.

Экспериментальный реостат регулировал скорость вращения вентилятора, изменяя мощность его питания с 5 до 120 вт. Такой же реостат был применен в устройстве для регулировки скорости вращения электродвигателя в киноаппарате.

Другим прибором был самоподогревный триод, в котором посередине между двумя электродами находится тонкая молибденовая сетка. Принципиальное устройство самоподогревного триода показано на рис. 14. Этот прибор может работать не только в качестве переменного сопротивления, но и как генератор при низких напряжениях питания. Такие генераторы могут успешно применяться для получения ультразвуковых колебаний, в устройствах высокочастотного нагрева, а также в медицине.

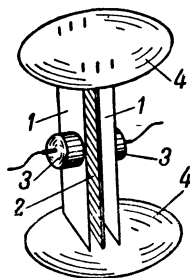


Рис. 14. Устройство самоподогревного триода.

1 — эмиттеры; 2 — молибденовая сетка; 3 — подогреватель; 4 — диск из слюды.

Третьим прибором, использующим самоподогревные катоды, был электронный регулятор напряжения с двумя электродами. В этом приборе при возрастании проходящего через него тока нагретая поверхность катода увеличивается, а при снижении тока — уменьшается. Поэтому напряжение между электродами при изменении тока, проходящего через прибор, практически остается постоянным.

Во всех трех самоподогревных приборах применяются оксидные катоды (можно использовать и другие, например вольфрамовые). Они работают в режиме, отличном от режима работы оксидного катода в обычных лампах. Катоды в этом случае подвержены значительной электронной бомбардировке. Отличается и их температурный режим.

Для пуска самоподогревной лампы необходима некоторая начальная эмиссия. Она получается либо при помощи специального бомбардирующего катода, либо путем подогрева самого рабочего катода. При нагреве катодов до температуры, превышающей некоторое критическое значение, их температура благодаря электронной бомбардировке достигает некоторого равновесного значения, при котором мощность, расходуемая эмиттерами на тепловое излучение, вос-

полняется мощностью, рассеиваемой на эмиттере при электронной бомбардировке, причем небольшое отклонение рабочей температуры не выводит эту систему из положения равновесия.

15. ШУМЫ КАТОДОВ

Эмиссионный ток образуется большим числом отдельных электронов, причем в равные промежутки времени на анод лампы может попасть различное число электронов, что ведет к небольшим колебаниям анодного тока и вызывает шумы в аппаратуре. Это явление получило название *дробового эффекта*. Последний определяет верхний предел возможного усиления слабого сигнала. При наличии пространственного заряда дробовой эффект несколько уменьшается.

Но дробовой эффект является не единственной причиной, вызывающей изменения эмиссионного тока. На низких частотах (порядка нескольких тысяч герц), например, наблюдаются значительно большие, чем при дробовом эффекте, колебания анодного тока, причем такие колебания с уменьшением частоты увеличиваются. Это явление получило название *мерцания*. Его причиной принято считать появление на поверхности катода в результате диффузии не отдельных атомов, а отдельных сильно эмиттирующих островков. Мерцание, так же как и дробовой эффект, при наличии пространственного заряда уменьшается.

Кроме рассмотренных здесь колебаний тока эмиссии, получивших название нормальных, существуют, так называемые, аномальные изменения эмиссионного тока, причиной которых являются ионы, попадающие на катод.

Наряду с быстрыми изменениями анодного тока в лампах иногда наблюдаются довольно медленные периодические колебания с периодом до нескольких часов, причины которых до сих пор еще недостаточно изучены.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Широкое использование электровакуумных приборов в различных отраслях народного хозяйства вызывает самые разнообразные требования, предъявляемые к этим приборам. Например, в счетно-решающих машинах, а также в приемно-передающей аппаратуре дальней связи в настоящее время от электронных ламп требуется увеличение их эксплуатационной надежности, а также долговечности (до десятков, а иногда и до сотен тысяч часов).

В авиационной и ракетной технике лампы должны обладать достаточной механической прочностью и надежностью в условиях больших ускорений и вибрационных нагрузок.

В телевидении, радиолокации и радиорелейной связи растет диапазон частот, в связи с этим предъявляются более жесткие требования к плотности тока эмиссии катода.

Создание новых электровакуумных приборов тесно связано с дальнейшим развитием катодной электроники. Из всего разнообразия требований, предъявляемых к катодам электровакуумных приборов, можно выделить следующие: во-первых, увеличение эмиссионной способности катода и, во-вторых, рост долговечности катодов.

В гл. 1 было рассмотрено создание новых типов сложных катодов, работающих на основе щелочноземельных окислов. Здесь же мы остановимся на работах по исследованию эмиссионных свойств различных веществ (боридов, окислов, алюминатов) с целью создания новых высокоэффективных катодов.

Как уже указывалось выше, одним из недостатков, присущих оксидному катоду, является слишком высокая скорость испарения активного вещества, а следовательно, малая долговечность катода. Для устранения этого недостатка были созданы Л-катоды, импрегнированные и другие типы катодов, в которых затруднялась диффузия активного вещества на поверхность, а следовательно, увеличивался срок его службы.

С этой точки зрения заслуживает внимания катод, приготовленный из соединений различных элементов с бором, так называемых гексаборидов. Хорошими эмиссионными свойствами обладают гексабориды редкоземельных элементов: лантана, гадолиния, иттрия и др. Для примера рассмотрим работу катода из гексаборида лантана.

При нагревании до высокой температуры атомы лантана, расположенные вблизи поверхности, испаряются, а на их место диффундируют атомы лантана из более глубоких слоев. Процесс диффузии может протекать только при наличии вакантных мест атомов металла, что регулирует скорость подачи атомов лантана на поверхность, делая ее как раз достаточной для поддержания неизменного состава в приповерхностном слое вещества.

Скорость испарения лантана с поверхности начинает превышать скорость диффузии лантана изнутри вещества только при очень высоких температурах (больше 2100°K), по-

этому рабочие температуры гексаборидных катодов лежат в широком интервале температур (1 500—2 000° К).

Гексабориды являются тугоплавкими, химически стойкими веществами. Они обладают хорошей электропроводностью, близкой к электропроводности свинца, поэтому плотности тока, снимаемые в статическом режиме, практически не отличаются от плотностей тока импульсного режима.

Необходимо отметить, что при изготовлении катодов гексабориды нельзя наносить непосредственно на керн из тугоплавких металлов (вольфрам, молибден, тантал, платина и др.), так как при нагревании атомы бора из гексаборида внедряются внутрь керна, что ведет к разрушению кристаллической решетки гексаборидов и испарению редкоземельных атомов. Этот процесс идет либо до полного испарения редкоземельных атомов, либо до заполнения всех междоатомных промежутков решетки керна атомами бора.

Для устранения диффузии бора в керн до нанесения активной массы на тугоплавкую проволоку в металле керна растворяют бор или углерод. Правда, в этом случае проволока керна становится слишком хрупкой, поэтому борированию или карбидированию обычно подвергают только поверхностную часть керна. Так, карбидирование танталового керна на глубину в несколько сотых долей миллиметра дает вполне хорошие результаты.

Гексабориды плохо пристают к поверхности металла или керамики, поэтому их наносят либо на проволоку с шероховатой поверхностью, либо на проволоку, предварительно обмотанную другой более тонкой проволокой.

Из гексаборидов можно приготавливать катоды и без мегаллического керна. В этом случае гексаборидный порошок спрессовывают и затем спекают в специальных графитовых формах.

Необходимо отметить, что катоды из гексаборидов не нуждаются в специальном активировании. Нагревания с целью обезгаживания до температуры 1 700—1 900° К в течение нескольких минут вполне достаточно для того, чтобы катоды стали активными.

В настоящее время изучаются эмиссионные свойства и других соединений редкоземельных металлов — окислов. Слои из окислов наносились на вольфрамовый керн намазыванием. Оказалось, что по своим эмиссионным свойствам многие из редкоземельных окислов превосходят широко применяемый в настоящее время ториево-оксидный катод.

Хорошими эмиссионными свойствами обладает, например, катод из окиси иттрия, работа выхода которого равна 2,0 эв. Обладая низкими значениями скорости испарения, катод выдерживает нагревание до высоких температур, хорошо переносит ионную бомбардировку.

Хорошими эмиссионными свойствами обладают и соединения окислов бария и кальция с окисью алюминия, так называемые барий-кальциевые алюминаты.

Для получения алюминатов смешивались карбонаты бария и кальция с гидроокисью алюминия. К полученной смеси добавлялась дистиллированная вода до получения сметанообразной массы. После высушивания смесь спекалась при температуре 1 650° К и затем плавилась в специальных молибденовых лодочках при температуре 2 000° К в атмосфере водорода с целью окончательного удаления газов и повышения устойчивости к атмосферным воздействиям.

Катоды приготавливались смешиванием алюминатов с вольфрамовым порошком (10 % алюминатов и 90 % вольфрамового порошка) с последующим прессованием. На эмиссионные свойства этих катодов сильное влияние оказывают размер зерен порошка, из которого прессуется катод, а также величина давления прессования. С мелкозернистых катодов удавалось снять более высокие плотности эмиссионного тока. Катоды, прессованные при высоких давлениях, более долговечны и дают значительные плотности тока эмиссии.

После прессования катод подвергался спеканию в атмосфере водорода при температуре 2 000° К. В результате спекания и дальнейшего активирования на поверхности катода появляются отдельные бариевые островки. С таких катодов была получена достаточно стабильная эмиссия в течение длительного времени.

За последние годы создано много новых высокоэффективных катодов, однако использование электровакуумных приборов в различных отраслях современной техники ставит перед катодной электроникой все новые и новые задачи.

ПРИЛОЖЕНИЕ

Эмиссионные свойства катодов

Катод	Температура катода, °К	Работа выхода, эв	Плотность тока эмиссии, а		Долговечность катода, ч
			Статический режим	Импульсный режим	
Вольфрамовый	2 600	4,5	0,5	0,5	10 000
Тангаловый	2 400	4,1	0,5	0,5	10 000
Ниобиевый	2 300	4,0	0,5	0,5	1 000
Из торированного вольфрама	2 000	2,7	1—3	1—3	5 000
Оксидный	1 100	1,2	0—5	50	3 000
Ториево-оксидный	1 950	2,6	2	10	4 000
Из барий-кальциевого алюмината	1 400	1,7	9	10	5 000
Л-катод	1 300	2,1	1,5	—	8 000
Спеченный	1 400	1,3	1	—	1 000
Ячейчагый	1 150	—	0,6	30	—
Ламельный	1 150	—	0,6	—	—
Из гексаборида лантана . . .	1 900	2,7	10	—	—
Из гексаборида иттрия . . .	1 900	2,2	—	—	—
Из гексаборида гадолиния . .	1 900	2,1	—	—	—
Из окиси иттрия	1 900	2,0	—	—	—
Из окиси гадолиния	1 400	2,2	—	—	—

Цена 75 коп.